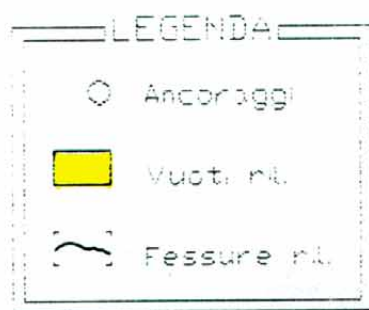


Fig. 1 - Schema prospettico fronte centrale della sede COMIT di Legge (prog. Arch. Resta)



## Introduzione

Negli ultimi anni si è imposto il problema della manutenzione e del ripristino delle strutture in calcestruzzo degradante (in conseguenza della manutenzione tardiva).

Siccome sull'argomento è difficile trovare materiale tecnico di rapida e semplice consultazione, si

è voluto riportare nel seguito una breve raccolta di elementi utili a chi deve effettuare o programmare interventi di questo tipo.

Ove possibile, ci si è riferiti alle indicazioni riportate dagli Eurocodici e dai quaderni del CEB (Comitato Europeo del calcestruzzo) e dell'ACI (American Concrete Institute) a cui si rimanda (vedi più avanti «Bibliografia essenziale») per un eventuale approfondimento dell'argomento.

## 1. Il metodo di studio

*1.1 - Individuazione ed analisi delle cause del degrado del singolo elemento e della struttura nel suo complesso*

Occorre innanzitutto stabilire con ragionevole accuratezza l'età della struttura nonché le caratteristiche dell'ambiente (o degli ambienti) e le situazioni a cui è stata sottoposta la medesima.

Quando possibile occorre reperire il progetto originario dell'opera (per controllare le ipotesi di carico e di esposizione fatte dal progettista), verificare la rispondenza di quanto realizzato al progetto e rilevare le caratteristiche ed i modi di apparire attuali dell'elemento strutturale, delle interfacce elemento-struttura e della struttura nel suo complesso.

Si costruisce così una «scheda» riassuntiva dell'elemento (Esempio 1) in cui si confrontano le ipotesi di partenza con quanto real-



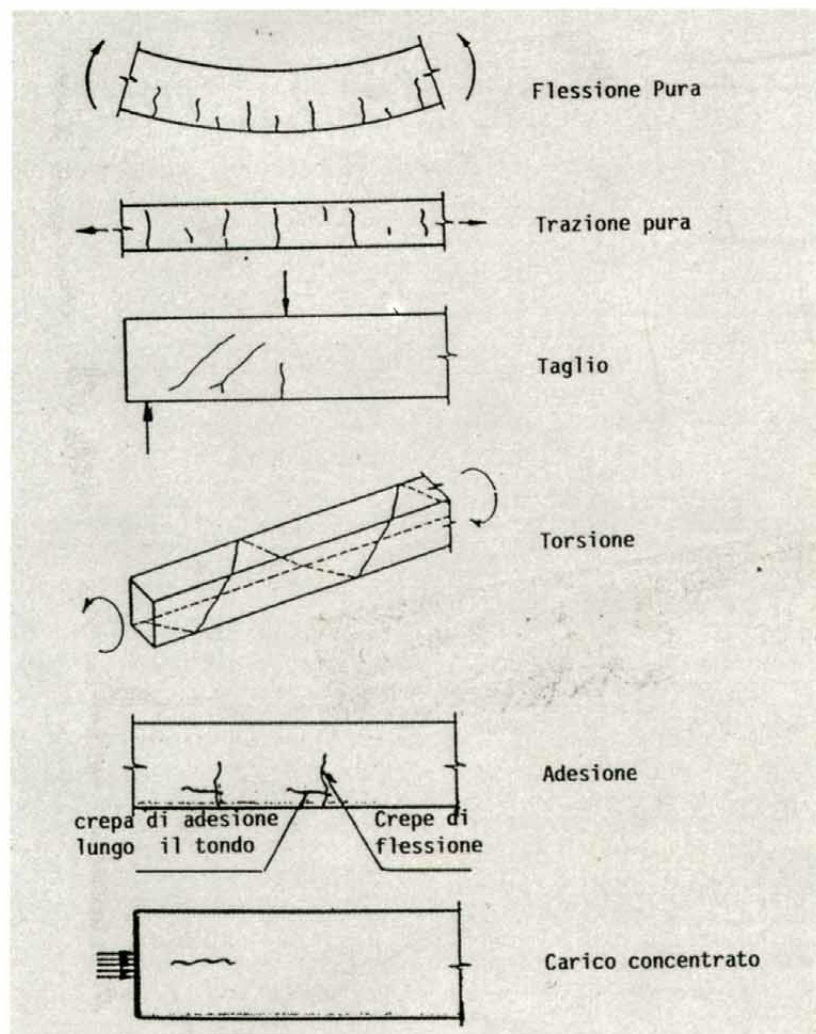


Fig. 2a

mente accaduto. Si avranno così i tempi e le condizioni di attacco chimico-fisico a cui è stata sottoposta la struttura.

Esempio 1: un edificio pensato in zona-giardino, condizioni di esposizione «normale» o «protetta» da norme UNI Edl 104, che si trovi dopo 10-20 anni in ambiente industriale a causa dello sviluppo del tessuto urbano; oppure: un magazzino di prodotti finiti, condizione di esposizione «normale», nel cui interno vengano successivamente stoccati prodotti chimici: sali, ecc., condizione di ambiente «aggressivo».

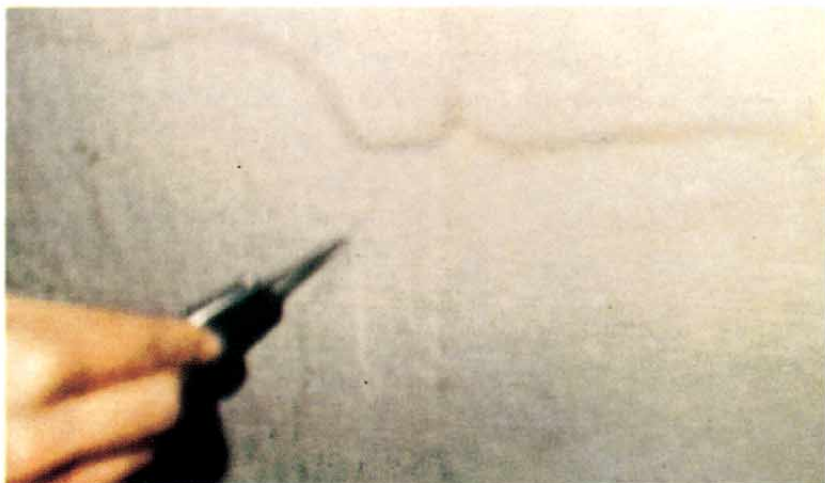
Occorre inoltre non dimenticare l'importanza di rilevare le ipotesi di calcolo e di realizzazione (o

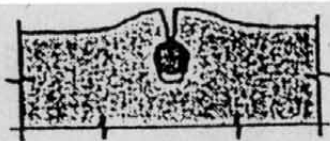
tecnologiche) adottate dal progettista e dai realizzatori dell'opera.

Infatti è grande la differenza tra quanto imposto dalle normative oggi in vigore (di solito più cautelative ai fini del degrado) e le modalità di realizzazione assai diverse da quelle oggi in uso normale ed in qualche caso tali da compromettere in modo grave la durabilità, come l'uso improprio di additivi, cicli termici mal progettati, rapporto A/C elevato, ecc. Si aggiunge infine la differenza tra i materiali allora normalmente impiegati e quelli oggi in uso.

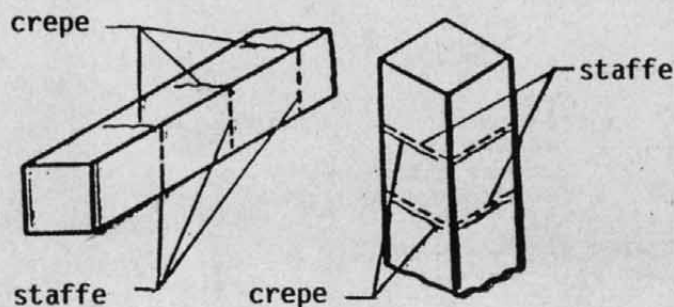
È corretto dire che oltre i 2/3 dei casi di degrado strutturale, oggi osservabile, sono riconducibili ad un'impropria realizzazione dell'opera che, più che attaccata e degradata dall'ambiente, esaspera i difetti di origine sotto l'azione "rivelatrice" nell'ambiente stesso.

Fig. 2b - fessure a ragnatela





Crepe di assestamento secondo il tondo



## 1.2 - Rilievo delle caratteristiche strutturali. Sicurezza della struttura nella situazione di degrado

È opportuno operare un rilevamento fotografico (con foto a colori per evidenziare le caratteristiche di superficie e gli affioramenti così facilmente individuabili) dell'opera trasformandolo poi in un disegno strutturale su cui risulti evidente lo stato fessurativo e di degrado (vedi figura 1).

Si riporta nel seguito la Fig. 2a e seguenti, che consente di individuare i principali tipi di fessure di origine strutturale e di origine tecnologica.

Per una miglior comprensione del «perché» si formino le fessure si riporta nella Fig. 3 lo sviluppo comparato delle resistenze a trazione del materiale e degli sforzi conseguenti ed i ritiri impediti.

Negli schemi e dalle figure allegare risulta chiaro che la lettura dello stato fessurativo può indicare quali siano state le sollecitazioni in fase tecnologica e la lettura dell'ampiezza delle fessure (vedi Fig. 4) consente inoltre di avere indicazioni su quali sono e quali siano state le massime sollecitazioni dell'acciaio (questo almeno nelle strutture in c.a.v.) (Fig. 5 e 6),

È, in queste analisi, particolar-

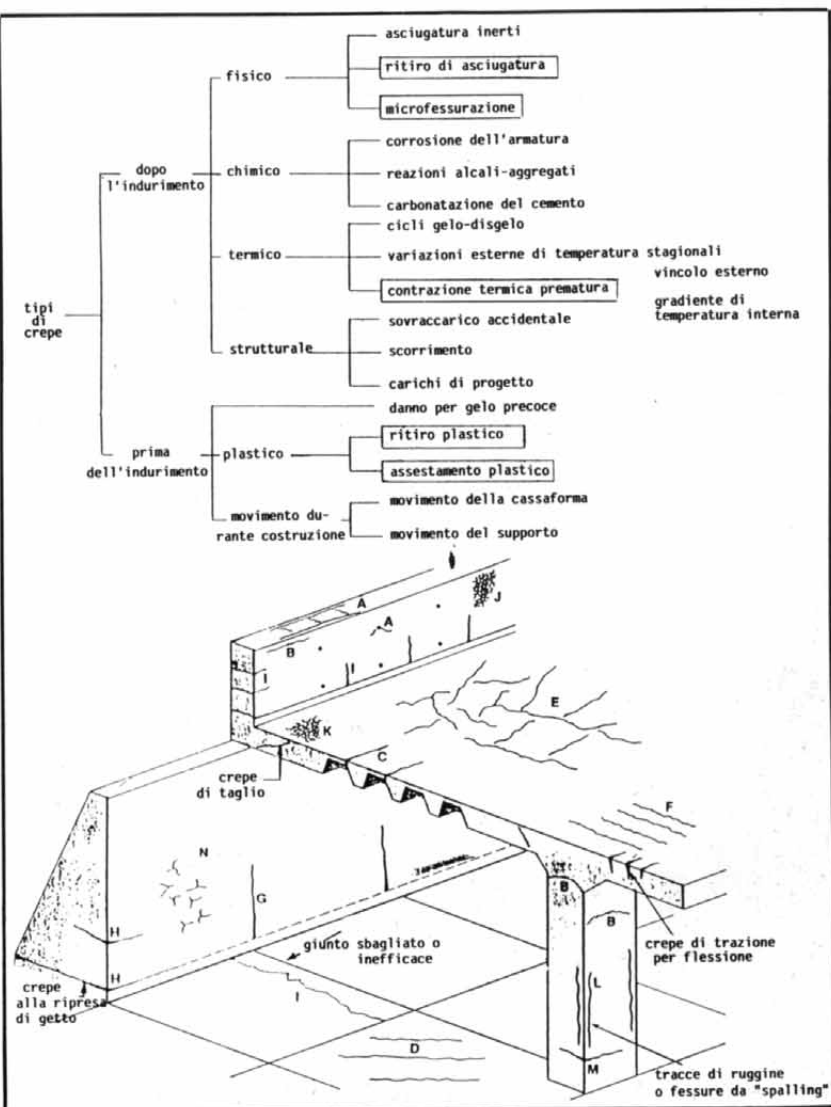
mente utile l'impiego di liquidi penetranti che possono essere usati per evidenziare fessure, differenza di porosità, «bolle» e

nidi di ghiaia nascosti sotto la superficie, ecc.; al riguardo è sufficiente bagnare le superfici in esame con acqua o con acqua addizionata con ipoclorito di sodio (la comune candeggina) e controllare le modalità di imbibimento e di asciugatura.

Il rilevamento e la verifica dello stato delle armature di superficie può essere poi completato con l'impiego di modesti «cerca-ferri» (magnetici o elettrici) e lo stato di conservazione delle armature può essere controllato, o con il rilevamento dei potenziali elettrici con voltmetri ad alta impedenza ..... ( $> 10M\Omega$ ), o con piccoli assaggi, che consentono di verificare lo stato di ossidazione delle armature di superficie.

Vanno evidenziati e mappati

Fig. 2d - Esempi di "crepe" in strutture in c.a.v.



Tipo di fessurazione			Posizione più probabile	Causa principale (escluso vincoli)	Cause secondarie	Tempo di comparsa
Assestamento plastico	A	in corrispondenza delle armature	sezioni massive	notevole bleeding	condizioni ambiente di rapida evaporazione	da 10 minuti a 3 ore
	B	volte	sommità dei pilastri			
	C	cambio dello spessore	passanti in solette sottili			
ritiro plastico	D	diagonali	pavimentazioni e strade	essiccamento rapido	insufficiente quantità di acqua d'impasto	da 30 minuti a 6 ore
	E	casuali	solette in c.a.			
	F	in corrispondenza delle armature	solette in c.a.	essiccamento superficiale rapido di strutture con basso copriferro		
contrazioni termiche premature	G	vincoli esterni	muri di grosso spessore	elevato calore di idratazione	raffreddamento rapido	da 1 giorno a 3 settimane
	H	vincoli interni	solette di grosso spessore	forte innalzamento della temperatura		
ritiro igrometrico alle lunghe stagionature	I		muri e solette sottili	giunti inefficaci	forte ritiro insufficiente stagionatura	più settimane o mesi
microfessure	J	contro la cassaforma	calcestruzzo faccia-vista	cassaforme impermeabili	miscela troppo ricca di cemento pessima stagionatura	da 1 a 7 giorni talvolta molto dopo
	K	calcestruzzo segregato	solette	eccessiva finitura		
corrosione delle armature	L	naturale	pilastri e travi	scarso copriferro	pessima qualità del calcestruzzo	dopo circa 2 anni
	M	cloruro di calcio	strutture prefabbricate	eccesso di cloruro di calcio		
reazione alcali-aggregati	N		siti umidi	aggregati reattivi e cemento con elevata quantità di acqua		dopo circa 5 anni

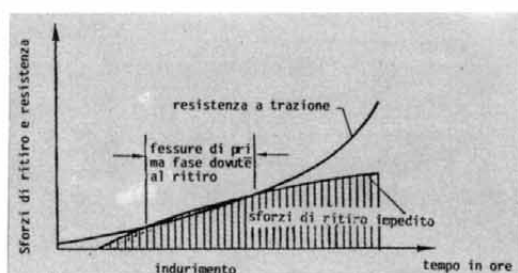


Fig. 3

Fig. 3a

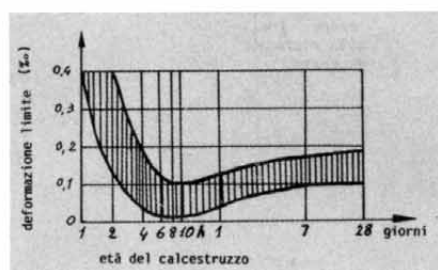
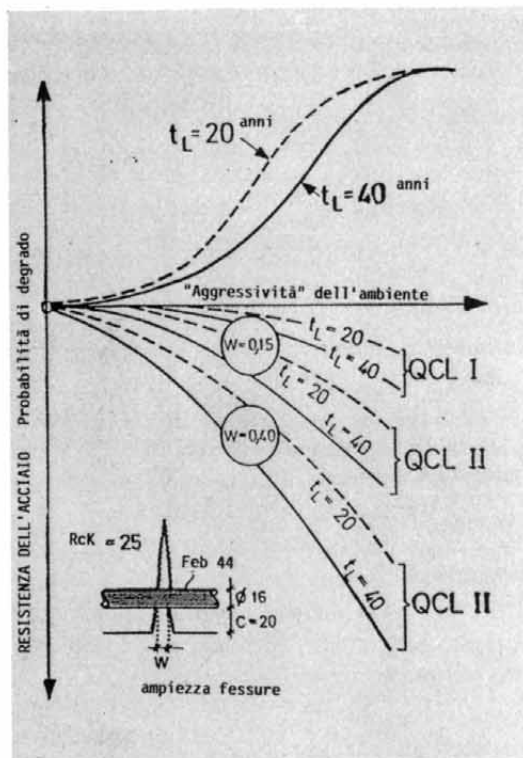


Fig. 4





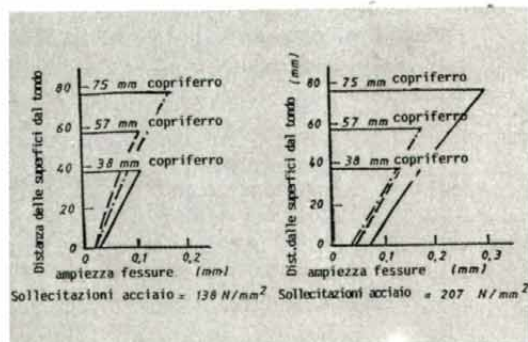


Fig. 5

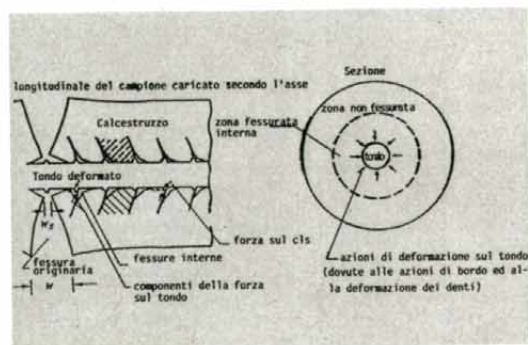


Fig. 6

eventuali ferri affioranti, tracce di ruggine e, se presenti, le zone interessate dal fenomeno di «spalling» (Fig. 7a e 7b).

Nelle zone ove si nota lo «spalling» (proiezione di frammenti di calcestruzzo di copriferro e scagliature dei ferri stessi causate dall'aumento di volume della ruggine) occorrerà anche controllare, oltre alle caratteristiche geometriche delle armature (per verificare le perdite di sezione dovute alla corrosione) anche le caratteristiche meccaniche degli

acciai (vedi Fig. 8) perché quando vi sono perdite apprezzabili di sezione si ha anche una «ricottura» (1) del materiale residuo le cui caratteristiche meccaniche tendono a degradare in modo apprezzabile.

È un fenomeno simile a quello che si verifica (vedi Fig. 9) per i calcestruzzi e per gli acciai interessati agli incrementi di temperatura dovuti ad un attacco da fuoco (incendio).

L'intervento su armature e calcestruzzi nelle zone di spalling

è particolarmente impegnativo (vedi più avanti).

### 1.3 - Il progetto di ripristino delle caratteristiche strutturali

Rilevata con cura la situazione dei materiali, dei loro accoppiamenti (si ricordi che può essere particolarmente critica la caduta di aderenza ferro-calcestruzzo!) e rilevato lo schema strutturale reale (2) occorre che il progettista del recupero strutturale indi-

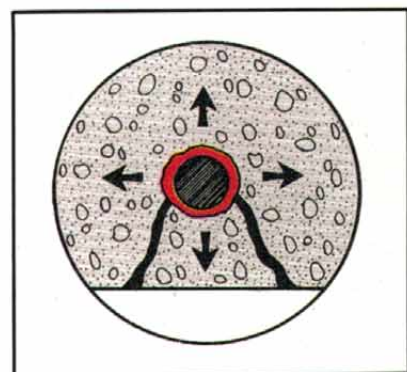


Fig. 7b

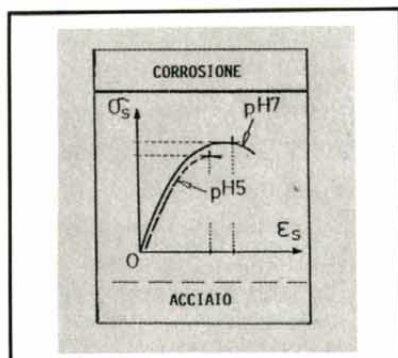


Fig. 8

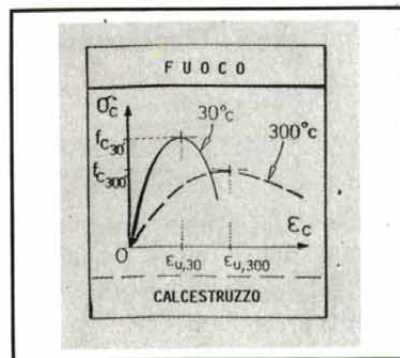


Fig. 9

(1) Ciò che succede al materiale a causa dell'energia liberata nelle ossidazioni e seguente idratazione dell'acciaio corrisponde al classico trattamento termico di ricottura. (2) Spesso le vicende, il maltrattamento nella fase tecnologica, le distorsioni (crepe) e le modifiche delle caratteristiche meccaniche dei materiali, indotte dall'ambiente, portano a schemi di funzionamento ben lontani da quelli previsti nel progetto originario.

Fig. 10 - Esempio di scheda tecnica

BIRDAIR FABRIC PROPERTY DATA SHEET

FABRIC TYPE: PTFE COATED GLASS  
TRADE NAME: SHEERFILL III (CHEMFAB)

	PROPERTY	TYPICAL TEST RESULTS		TEST METHOD
		SI (UNITIS SYSTEM)	IMPERIAL (UNIT SYSTEM)	
PHYSICAL STRENGTH	WEIGHT	12 N/sq. m	37 oz./sq.yd	FTMS 191-5041
	STRIP TENSILE Dry Warp Fill	5430 N/5 cm 4200 N/5 cm	620 lbs./in 480 lbs./in	FIMS 191 - 5102
	STRIP TENSILE (Wet) Warp	4380 N/5 cm	500 lbs./in.	FIMS 191 - 5102
	FLEX FOLD STRENGTH Warp Fill	4380 N/5 cm 3290 N/5 cm	500 lbs./in. 415 lbs./in.	FIMS 191 - 5102 BIRDAIR LP - 78
	TRAPEZOIDAL TEAR Warp Fill	220 N 240 N	50 lbs. 55 lbs	FIMS 191 - 5136
	ADHESION	102/ N/5 cm	12 lbs./in.	BIRDAIR Ad-01
	SOLAR TRASMISSION	15%. 2%	15%. 2%	ASTM E - 424
	SOLAR REFLECTANCE	73%. 2%	73%. 2%	ASTM E - 424
	ACCOUSTIC ABSORPTION	-	NCR = 0.15 SABEN/SF	stm c - 423 - 77
	SOUND TRANSMISSION	-	SIC = 14dB	ASTM C - 496
PHISICAL PROPERTY	AVAILABLE WIDTH	2.54 m - 4.06 m.	108" - 160" max	
	FILAMENT DIAMETER	0.00046 cm	0.00018 in	
	YARN CONSTRUCTION	C 150 4/2	some	
	WEAVE STYLE	PLAIN +	some	
	WEAVE COUNT	95 X 7.5/cm	24 x 19/in.	
	WT OF GREICE GOODS	0.397 Kg/sm	14 oz/sy	
	COATED WI	1.22 Kg/sm	37 oz/sy	
	THICKNESS			

\* Note - This designation signifies C filaments with 4 sets of 2 twisted yarns twisted together (150.000 yards of filament/pound)

+ Note - This designation signifies simple weave of alternating over/under.

vidui quali siano le caratteristiche minime essenziali da raggiungere per garantire la sicurezza e la funzionalità dell'opera. Occorrerà quindi un ricalcolo dell'opera nelle nuove condizioni e secondo i nuovi schemi di funzionamento (è anche possibile variare gli schemi strutturali che si sono formati, ma questo

di solito implica interventi strutturali assai pesanti) tenendo conto, fino dove possibile, delle nuove caratteristiche meccaniche dei materiali. Di solito occorre, come minimo, ristabilire l'efficacia dei calcestruzzi di copri ferro. In molti casi però è necessario anche integrare le sezioni resistenti a com-

pressione (calcestruzzo) ed a trazione (armature). Infine occorre sempre verificare che nelle nuove condizioni la speranza di vita utile della struttura (o durabilità residua, se si preferisce) sia sufficiente, e che, in particolare, gli interventi eseguiti ed i materiali usati non siano solo atti a ripristinare le caratteristiche strutturali iniziali dell'opera, ma che non inneschino o subiscano diversi meccanismi di degrado.

1.4 - I materiali per il ripristino strutturale e la loro durabilità

Fondamentalmente i materiali di ripristino delle opere in c.a. possono raggrupparsi in 4 categorie principali:

- materiali che ripristinano o integrano la funzione prima svolta dal calcestruzzo (calcestruzzi e malte cementizie più o meno additivate, conglomerati a legante non cementizio o solo parzialmente cementizio, ecc.);
- materiali che ripristinano o integrano la funzione svolta dalle armature come acciai (acciai normali od inossidabili), fibre semplici (di carbonio, di vetro alcali-resistente, ecc.) e fibrati di diverso tipo;
- materiali di «interfaccia» e cioè materiali che ripristinano l'aderenza ferro-calcestruzzo o calcestruzzo-calcestruzzo, persa o compromessa a seguito del degrado (di solito sono resine e formulati con forte azione di primer e di penetrazione);
- materiali di protezione che ristabiliscono l'azione originariamente svolta dai «veli» passivanti per gli acciai, dalle superfici compatte ed impermeabili, e dall'ambiente chimico fortemente basico per i calcestruzzi ed infine ristabiliscano la stabilità igrometrica dimensionale dovuta alla bassa permeabilità iniziale che ritarda e riduce le variazioni dimensionali per asciugatura (shrinkage).

Occorre che sia a priori (in prove di laboratorio significative) verificata la durabilità (in questo caso durabilità = continuità delle prestazioni richieste nel tempo) di ogni singolo materiale impiegato, ma soprattutto occorre conoscere e prevedere correttamente il comportamento dei materiali usati nel loro insieme (ad esempio: l'uso di un materiale fortemente impermeabile all'acqua e non ai gas, protegge sicuramente dall'azione di dilavamento della stessa ma accelera la velocità di carbonatazione delle zone che prima erano protette dalla carbonatazione dall'umidità ritenuta dal calcestruzzo e così via).

In sostanza occorre avere una scheda tecnica esauriente (vedi Fig. 10, 10a e 11) e garantita per le caratteristiche specifiche, ove richiesto, di ogni materiale usato e di ogni procedura (o schema) che preveda l'accoppiamento di più materiali (si ricordi di tenere bene in conto anche le interazioni «materiali di ripristino-materiali originari»; esempio: può non essere opportuno cambiare il tipo di cemento rispetto all'originario nel ripristino).

Si ricordi infine che è essenziale procedere alla demolizione di tutto il materiale ammalorato o di tutto il materiale di cui non si può garantire o la durabilità propria o le possibili interazioni ne-

Fig. 10a - Esempio di scheda tecnica

F6

## EPOMIX 311 S

**ADESIVO STRUTTURALE EPOSSIDICO BICOMPONENTE, SENZA SOLVENTI, APPLICABILE A SPRUZZO, AIR-LESS O PENNELLO, PER RIPRESE DI GETTO E PER COLLEGAMENTI PORTANTI TRA SUPPORTI DI VARIA NATURA**

---

**CARATTERISTICHE**

<p>Aspetto Peso Specifico Residuo secco Proporzione dei componenti resina (A) indurente (B) Lavorabilità Temperatura limite di applicazione Pot-life (massa 0.2 Kg) intervallo di utilizzazione della miscela A + B Intervallo di getto sull'adesivo applicato</p>	<p>● fluido trasparente di colore ambrato ● 1.1 ± 0.05 Kg/lit a 20° C ● 100%  ● 2.5 in peso 1.5 ● liquido pennellabile leggermente viscoso ● minimo 10°C - massimo 45°C  ● 1 h 30' a 20°C  ● 4 h a 20°C</p>
--	---

**PROPRIETÀ**

Elevate e rapide resistenze meccaniche.  
Eccellente adesione su calcestruzzo ed acciaio.  
Praticità di applicazione anche a spruzzo con attrezzatura air-less.  
Indurimento senza ritiro.  
Polimerizza anche se applicato su supporti umidi.  
Impermeabile all'acqua ed ai gas (barriera vapore).  
Resistente ai principali agenti chimici ed all'invecchiamento.  
Notevole comportamento dielettrico (isolamento dalle correnti vaganti e dispersi) ed anticorrosivo delle armature.

Escursione termica d'esercizio	da -30 a 60°C
Resistenze meccaniche (stagionatura: 28 gg a 20°C e 65% U.R.)	
- resistenza a compressione	85 N/mm²
- modulo elastico	2.500 N/mm²
- trazione per flessione	95 N/mm²
- trazione diretta	65 N/mm²
- allungamento a rottura	3%
- taglio (incollaggio di ripresa tipo "brasiliense")	8 N/m/cm² (rottura 100% del calcestruzzo)
- adesione per trazione diretta:	
• al cis asciutto (rottura 100% cis)	6.5 N/mm²
• al cis umido (rottura 75% cis)	5 N/mm²
• all'acciaio sabbiato	30 N/mm²
HDT temperatura di distorsione termica	52°C

**LANCHITAL s.p.a.**  
20010 COMASO - Via Galilei, 38  
Telefono (02) 83.560.251

**IMPRESA ESECUTRICE**

Foto 1 - Precompressione provvisoria (solo alcuni cavi sono pretesi in fase di montaggio per evitare trazioni eccessive e rilasciati quando tutto il carico grava sulla trave).



rare in futuro decoesioni, ecc.).

Il complesso di tali operazioni di pulizia e demolizione deve avvenire in condizioni di assoluta sicurezza per gli operatori (quindi appropriate puntellazioni preventive, ecc.) ed in modo tale che i rinforzi ed i completamenti realizzati possano prendere carico (funzionare!) non solo per i successivi sovraccarichi e per le temute future azioni eccezionali (ad esempio: sisma) ma anche, almeno in quota-parte per i pesi propri.

Questo si può ottenere imprimendo opportune coazioni alla struttura in fase di restauro (ad esempio con puntellazioni forzate o adeguate precompressioni temporanee).

(Foto 1).